

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

CAMPUS DE CURITIBANOS

CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS

Jullia Jacques

**MODELOS PARA ESTIMATIVA DA TAXA DE DESENVOLVIMENTO E DO
VOLTINISMO DE *Mythimna sequax* FRANCLEMONT EM DIFERENTES
CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS DO RIO GRANDE DO SUL E SANTA
CATARINA**

Curitibanos

2018

Jullia Jacques

**MODELOS PARA ESTIMATIVA DA TAXA DE DESENVOLVIMENTO E DO
VOLTINISMO DE *Mythimna sequax* FRANCLEMONT EM DIFERENTES
CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS DO RIO GRANDE DO SUL E SANTA
CATARINA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Agronomia, do Centro de Ciências Rurais, do Campus de Curitibanos, da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para obtenção do Grau de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Cesar Augusto Marchioro

Curitibanos

2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Jacques, Jullia

Modelos para estimativa da taxa de desenvolvimento e do voltinismo de *Mythimna sequax* Franclemont em diferentes cenários de mudanças climáticas do Rio Grande do Sul e Santa Catarina / Jullia Jacques ; orientador, Cesar Augusto Marchioro, 2018.

46 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus
Curitibanos, Graduação em Agronomia, Curitibanos, 2018.

Inclui referências.

1. Agronomia. 2. Modelo Fenológico. 3. Entomologia Agrícola. 4. Mudanças Climáticas. 5. Voltinismo. I. Marchioro, Cesar Augusto. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Agronomia. III. Título.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS DE CURITIBANOS
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS

Coordenação do Curso de Graduação em Agronomia
Rodovia Ulysses Gaboardi km3
CP: 101 CEP: 89520-000 - Curitiba - SC
TELEFONE (048) 3721-2178 E-mail: agronomia.cbs@contato.ufsc.br.

JULLIA JACQUES

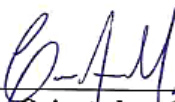
**MODELOS PARA ESTIMATIVA DA TAXA DE DESENVOLVIMENTO E
DO VOLTINISMO DE *Mythimna sequax* FRANCLEMONT EM
DIFERENTES CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO SUL DO
BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao
Colegiado do Curso de Agronomia, do Campus de
Curitiba da Universidade Federal de Santa Catarina,
como requisito para obtenção do título de Bacharel em
Agronomia.

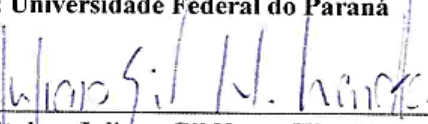
Orientador: Cesar Augusto Marchioro

Data da defesa: 14 de junho de 2018.

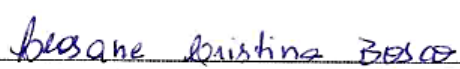
MEMBROS COMPONENTES DA BANCA EXAMINADORA:



Presidente e Orientador: Cesar Augusto Marchioro
Titulação: Doutorado
Instituição: Universidade Federal do Paraná



Membro Titular: Juliano Gil Nunes Wendt
Titulação: Doutorado
Instituição: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro



Membro Titular: Leosane Cristina Bosco
Titulação: Doutorado
Instituição: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Local: Universidade Federal de Santa Catarina
Campus de Curitiba

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a toda minha família, em especial a minha mãe Debora Nadaleti e minha avó Neusa Ariete Bortoluzzi Nadaletti por todo apoio, força e confiança que dedicaram a mim.

Aos meus irmãos, Camilla Jacques e Artur Nadaleti Mesnerovicz que estiveram ao meu lado a cada passo, mesmo que muitas vezes à distância.

Ao meu amigo e parceiro Thomas Alexandre Meneguzzi por todo apoio e companheirismo mesmo nas horas difíceis.

A todos os professores e servidores da UFSC - Curitibanos por todo conhecimento repassado e auxílio nessa caminhada. E em especial ao meu orientador Cesar Augusto Marchioro por todas as horas de dedicação e atenção e por ter me guiado durante praticamente toda minha trajetória acadêmica.

A toda equipe que ajudou diariamente na criação das lagartas, em especial a Benno Kolling e Erick Machado pela dedicação.

Por fim, agradeço aos meus colegas pelos momentos que compartilhamos, pela amizade, carinho e os laços que criamos ao decorrer do curso.

RESUMO

A lagarta do trigo, *Mythimna sequax* Franclemont, é uma importante praga desfolhadora de plantas da família Poacea. Devido ao alto potencial reprodutivo torna necessário o uso de métodos que controlem a densidade populacional da praga. A temperatura é um dos principais fatores abióticos que influenciam a dinâmica populacional de insetos. Nesse contexto, o estudo teve como objetivo avaliar o efeito da temperatura sobre o desenvolvimento e a sobrevivência de *M. sequax*, além de selecionar modelos fenológicos para estimar o número de gerações anuais da espécie no sul do Brasil em diferentes cenários de mudanças climáticas. Cem lagartas recém-eclodidas foram criadas com capim-quicuío (*Pennisetum clandestinum*) em câmaras climáticas reguladas nas temperaturas de 20 e 25 °C. Dados de tempo de desenvolvimento para as temperaturas de 14, 18, 22, 26 e 30 °C foram obtidos da literatura. Ajustou-se 8 modelos fenológicos para os dados de taxa de desenvolvimento em diferentes temperaturas. Posteriormente estimou-se o voltinismo da espécie para os anos de 2050 e 2070 em dois cenários de mudança climática disponibilizados pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças no Clima. O tempo de desenvolvimento dos estágios imaturos foi significativamente inferior a 20 °C. A sobrevivência foi maior quando as lagartas foram criadas a 20 °C. O desempenho dos modelos variou de acordo com o estágio de desenvolvimento do inseto. Os modelos Lactin-2 e Briere-2 foram os que melhor se ajustaram na maioria dos estágios de desenvolvimento. Os modelos Briere-1 e Linear também foram empregados para estimar o voltinismo de *M. sequax*. O voltinismo aumentou em todas as regiões da área de estudo em decorrência do aquecimento global previsto para os próximos anos, sendo este aumento mais evidente em áreas que atualmente apresentam temperaturas mais baixas. O local e o modelo foram os fatores que mais contribuíram para a variação total registrada no voltinismo. Os resultados obtidos mostram que a temperatura exerce uma importante influência sobre o desenvolvimento de *M. sequax* e que os modelos Briere-2 e Lactin-2 descrevem satisfatoriamente a relação entre temperatura e taxa de desenvolvimento de *M. sequax*. Os modelos estimaram aumento do número de gerações da praga, que varia conforme o cenário de mudança climática e a região. Este estudo fornece informações importantes para o desenvolvimento de estratégias de controle envolvendo a previsão da ocorrência de pragas no campo, bem como para a compreensão dos efeitos do aquecimento global no voltinismo desta importante praga.

Palavras Chave: Lagarta do trigo, Modelos Fenológicos, Número de gerações, Aquecimento global.

ABSTRACT

The wheat armyworm, *Mythimna sequax* Franclemont, is an important pest of plants belonging to the Poacea family. Temperature is one of the main abiotic factors that influence the population dynamics of insects. In this context, this study aimed to evaluate the effect of temperature on the development and survival of *M. sequax*, as well as to select phenological models to estimate species voltinism in southern Brazil based on different climate change scenarios. One hundred newly-hatched larvae were reared on kikuyo grass (*Pennisetum clandestinum*) in climatic chambers regulated at 20 and 25 °C, and 12h:12h photoperiod. Development time data for each immature stage at 14, 18, 22, 26 and 30 °C were obtained from the literature. Eight phenological models were fitted to development rate in the different constant temperatures evaluated. The best models was used to estimate species voltinism in 2050 and 2070 based on two climate change scenarios provided by the Intergovernmental Pannel on Climate Change. The development time of the immature stages was significantly lower at 20 °C compared to 25 °C. On the other hand, survival rate was higher when larvae were reared at 20°C. Although the performance of the models has varied according to the insect development stage, Lactin-2 and Briere-2 were the models that best fit to the observed data in most development stages. In addition to the models Lactin-2 and Briere-2, Briere-1 and Linear were also used to estimate the voltinism of *M. sequax*. Voltinism has increased in all regions of the study area as a result of global warming, and this increase is more evident in areas that currently have lower temperatures (e.g., Santa Catarina highlands). Both site and phenological models were the factors that contributed the most to the total variation observed in voltinism. Our findings show that temperature significantly affects the development of *M. sequax* and that the models Briere-2 and Lactin-2 accurately describe the relationship between temperature and species development rate. Also, the models estimated an increase in pest voltinism as a result of global warming, and this increase varied mainly according to the site and the phenological model. This study provides important information to the development of control strategies involving the prediction of pest occurrence in the field, as well as to the understanding of the effects of global warming on the voltinism of this important pest.

Key words: Wheat armyworm, Phenological models, Number of generations, Global warming.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estágios de larva (a), pré-pupa (b), pupa (c) e adulto (d) de <i>Mythimna sequax</i>	16
Figura 2. Relação entre taxa de desenvolvimento e temperatura em insetos.....	17
Figura 3. Emissões anuais de CO ₂ estimadas de acordo com cada cenário projetado pelo IPCC.....	20
Figura 4. Esquema da metodologia empregada para a obtenção dos dados de temperatura utilizados na modelagem. Primeiramente será delimitada a da área de estudo (A). A diferença na temperatura média anual entre projeções climáticas para os anos de 2050 e 2070 baseados nos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 (B) e o presente (C), resultou no grid “D”. O grid “D” foi utilizado para gerar projeções de aquecimento global mais realistas por meio da soma da diferença de cenários futuros e do presente com os mapas obtidos da literatura (E) (Xavier et al. 2016), resultando no mapa “F”. O mapa “F” foi utilizado para estimar o voltinismo nos diferentes anos e cenários de mudança climática para cada um dos 605 grids que englobam a área de estudo.....	25
Figura 5. Curvas de sobrevivência de <i>Mythimna sequax</i> criadas a temperaturas de 20°C e 25°C.....	29
Figura 6. Modelos fenológicos ajustados para a taxa de desenvolvimento (1/desenvolvimento) do ciclo ovo-adulto de <i>Mythimna sequax</i> em função da temperatura. Círculos fechados referem-se a valores observados, e a linha a valores estimados pelos modelos. A -Analitis; B - Briere; C - Briere-2; D -Lactin; E - Logan-6; F - Logan-10; G - Shi; H - Linear.....	34
Figura 7. Estimativa de número de gerações atuais e para dois cenários de mudanças climáticas (RCP4.5 e RCP 8.5), considerando dois diferentes anos (2050 e 2070) para os modelos Briere-1, Briere-2, Lactin-2 e Linear.....	36
Figura 8. Estimativa da diferença do número de gerações atuais em comparação com dois cenários de mudanças climáticas (RCP4.5 e RCP 8.5), considerando dois diferentes anos (2050 e 2070), para os modelos Briere-1, Briere-2, Lactin-2 e Linear.....	38
Figura 9. Figura 9. Porcentagem da interferência de diversos fatores sobre o número de gerações da espécie <i>M. sequax</i>	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Modelos fenológicos que serão testados para descrever a relação entre temperatura e taxa de desenvolvimento de <i>Mythimna sequax</i>	23
Tabela 2. Tempo de desenvolvimento em dias (Média \pm Erro Padrão) da espécie <i>Mythimna sequax</i> quando submetida a diferentes temperaturas.....	28
Tabela 3. Peso de pupa em gramas e porcentagem de deformação de <i>Mythimna sequax</i> submetidas a 20°C e 25°C.....	28
Tabela 4. Valores de Erro da Regressão (S), soma dos quadrados dos resíduos (SQR) e Critério de Informação de Akaike (AIC) dos diferentes modelos para cada estágio de desenvolvimento de <i>Mythimna sequax</i>	30
Tabela 5. Valor dos parâmetros observados para ovo, larva, pupa e adulto em casa um dos modelos avaliados.....	31
Tabela 6. Avaliação resumida levando em consideração os parâmetros de significância biológica estimados por cada modelo, bem como a precisão dos valores estimados para todos os estágios de desenvolvimento de <i>Mythimna sequax</i>	32

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

M. sequax – *Mythimna sequax*

IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*

RCP - *Representative Concentration Pathways*

T_{min} – Limiar térmico inferior

T_{max} – Limiar térmico superior

T_{opt} – Temperatura ótima para Desenvolvimento

K – Constante térmica

GMC – *General Circulation Models*

CCSM4 - *Community Climate System Model*

HadGEM2-ES - *Hadley Center Global Environmental Model version 2 Earth System*

MIROC5 - *Model for Interdisciplinary Research on Climate*

e.g. – *Exempli gratia*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1. OBJETIVOS	14
1.1.1. Objetivo Geral.....	14
1.1.2. Objetivos Específicos	14
2. REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1. MORFOLOGIA E BIOLOGIA DE <i>M. SEQUAX</i>	15
2.2. INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA EM INSETOS	16
2.3. MODELOS FENOLÓGICOS.....	18
2.4. PROJEÇÕES FUTURAS DO AQUECIMENTO GLOBAL	19
3. METODOLOGIA.....	21
3.1. OBTENÇÃO E MANUTENÇÃO DE <i>M. SEQUAX</i> EM LABORATÓRIO.....	21
3.2. INFLUÊNCIA DE TEMPERATURA SOBRE DESENVOLVIMENTO E SOBREVIVÊNCIA DE <i>M. SEQUAX</i>	21
3.3. OBTENÇÃO DE DADOS DA LITERATURA	22
3.4. SELEÇÃO DOS MODELOS	22
3.5. AVALIAÇÃO DOS MODELOS.....	23
3.6. OBTENÇÃO DE DADOS CLIMÁTICOS PRESENTES E FUTUROS.....	24
3.7. ESTIMATIVA DO NÚMERO DE GERAÇÕES.....	25
3.8. ANÁLISE ESTATÍSTICA	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1. DESENVOLVIMENTO E SOBREVIVÊNCIA A 20 E 25°C.....	27
4.2. AJUSTE E SELEÇÃO DOS MODELOS	29
4.3. EFEITO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE O VOLTINISMO	35

4.4. FATORES QUE INFLUENCIAM O VOLTINISMO.....	39
5. CONCLUSÃO.....	41
REFÊRENCIAS	42

1. INTRODUÇÃO

A lagarta do trigo, *Mythimna* (= *Pseudaletia*) *sequax* (Franclemont, 1951) (Lepidoptera: Noctuidae) é uma espécie de desenvolvimento holometabólico, passando pelos estágios de ovo, larva pupa e adulto. No estágio larval é considerada uma importante praga agrícola, que causa danos a diversas culturas de importância econômica devido ao seu hábito filófago, alimentando-se principalmente de cereais (PEREIRA, 2017). Os grandes prejuízos causados pela *M. sequax* às culturas somados à elevada capacidade de reprodução, que favorece o aumento de forma acentuada na abundância da praga em campo, tornou necessária a criação de estratégias de controle mais eficientes (TONET; KITAJIMA 1984; GALLO et. al., 2002) e de acordo com os princípios do manejo integrado de pragas. Nesse contexto, é fundamental o conhecimento sobre os fatores que afetam a abundância da praga em campo.

A temperatura é o principal fator abiótico que influencia o desenvolvimento, sobrevivência, reprodução e, conseqüentemente, a dinâmica populacional dos insetos (SALVADORI; PARRA, 1990; MARCHIORO et al., 2017). A temperatura exerce influência direta sobre a taxa de desenvolvimento de insetos, sendo que temperaturas ótimas correspondem a uma taxa de desenvolvimento mais acelerada, enquanto temperaturas superiores à ótima e próximas ao limiar térmico inferior resultam em uma redução na taxa de desenvolvimento. Insetos submetidos a temperaturas abaixo do limiar térmico inferior tem o desenvolvimento praticamente paralisado devido à redução drástica da atividade metabólica (LOGAN et al., 1976). Neste caso, o inseto entra em diapausa, interferindo diretamente no seu desenvolvimento, ou se exposto por tempo prolongado, pode ocasionar sua morte (BORTOLI, 2017). Assim sendo, entender como o desenvolvimento é influenciado pela temperatura é de grande importância para elaboração de sistemas de previsão da ocorrência de pragas, bem como para prever o número de gerações existentes em períodos distintos (MARCHIORO et al., 2017).

A relação entre temperatura e taxa de desenvolvimento é frequentemente descrita com o uso de modelos fenológicos. Dentre os modelos disponíveis na literatura, o linear é o mais empregado devido à sua simplicidade e facilidade de aplicação (ROY et al., 2002). Entretanto, o modelo linear tem como limitação o fato de que a resposta do inseto à temperatura não é linear quando se considera toda variação de temperatura tolerada pelo mesmo (LOGAN et al., 1976; WAGNER et al., 1984; LACTIN et al., 1995). Sendo assim torna-se necessário o uso de modelos não lineares para obtenção de

estimativas mais confiáveis, principalmente em regiões onde a temperatura frequentemente atinge os limiares térmicos inferiores e superiores da espécie.

A avaliação dos modelos leva em consideração diversos fatores. Um destes fatores é o ajuste aos valores observados, sendo que o modelo deve predizer de forma coerente a taxa de desenvolvimento da espécie em relação à temperatura, representando curvas de desenvolvimento semelhante às observadas em laboratório. Outro importante fator é a capacidade dos modelos em estimar parâmetros de significância biológica, tais como o limiar térmico inferior e superior, e a temperatura ótima para o desenvolvimento (ROY et al., 2002). Cada um dos modelos possui diferentes parâmetros de significância biológica que devem ser levados em consideração no processo de avaliação (KONTODIMAS et al., 2004).

Os modelos fenológicos têm sido utilizados como uma ferramenta de tomada de decisão no controle de pragas (KIM; LEE, 2010) e também para compreender o efeito das mudanças climáticas sobre o desenvolvimento de insetos (RAO et al., 2015). A estimativa da ocorrência dos diferentes estágios de desenvolvimento de insetos pragas em campo baseia-se no uso de dados de temperatura mínima e máxima diários, obtidos de estações meteorológicas. Essa informação pode ser utilizada para sincronizar o método de controle com a ocorrência do estágio de desenvolvimento mais suscetível da praga no campo (KIM; LEE, 2010). Adicionalmente, estes modelos têm sido utilizados para estimar o número de gerações anuais (voltinismo) de insetos pragas em diferentes áreas. Estas estimativas podem ser realizadas utilizando-se dados climáticos atuais e projeções de clima para o futuro (ZITER et al., 2012, RAO et al., 2015). Desta forma, modelos fenológicos têm um papel importante na compreensão dos efeitos do aquecimento global sobre o voltinismo de pragas agrícolas.

De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima (IPCC) (2015), a temperatura global tende a aumentar entre 1,8 a 4,0 °C até o final do século, variando de acordo com a taxa de crescimento da emissão de gases do efeito estufa. É esperado que o aumento na temperatura global acelere o desenvolvimento dos insetos (AUAD; FONSECA, 2017; TOBIN et al., 2008). Sendo assim, a partir de estudos relacionando aumento da temperatura com o voltinismo, é possível inferir sobre alterações nos padrões de ocorrência e na intensidade de ataque de insetos (BETTIOL et al., 2017), uma vez que o maior número de gerações favorece o aumento populacional de pragas na lavoura (RAO et al., 2015; JÖNSSON et al., 2009). Desta forma, compreender como as mudanças no clima podem afetar o número de gerações da

praga é fundamental para entender as vulnerabilidades do setor agrícola frente às mudanças climáticas.

Nesse contexto, o presente trabalho busca testar a hipótese de que a temperatura influencia na taxa de desenvolvimento de *M. sequax* e que esta relação pode ser descrita satisfatoriamente com o uso de modelos fenológicos. Além disso, os modelos que melhor se ajustaram aos dados foram utilizados para testar a hipótese de que o aquecimento global irá aumentar o número de gerações anuais da praga no sul do Brasil e que esse aumento vai ser mais intenso em determinadas regiões da área de estudo. Finalmente, também se testou a hipótese de que o modelo fenológico, o local, o ano e o cenário de mudança climática afetam diferentemente o voltinismo da lagarta do trigo no sul do Brasil.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

Empregar modelos fenológicos para descrever a relação entre a temperatura e a taxa de desenvolvimento de *M. sequax* e estimar o efeito do aquecimento global sobre o voltinismo da espécie no Sul do Brasil.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Avaliar a influência da temperatura sobre o desenvolvimento e sobrevivência de *M. sequax*;
- Selecionar modelos fenológicos que descrevam adequadamente a relação entre a temperatura e a taxa de desenvolvimento de *M. sequax*;
- Estimar o voltinismo de *M. sequax* no sul do Brasil com base em dados climáticos atuais e em projeções futuras baseadas nos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 previstos pelo IPCC;
- Comparar as diferenças no número de gerações anuais de *M. sequax* em relação às condições de climáticas atuais e projetadas para o futuro;
- Comparar as diferenças no número de gerações anuais de *M. sequax* estimadas por diferentes modelos fenológicos;

- Avaliar a contribuição local, do cenário de mudança climática, do ano e do modelo fenológico como fontes de variação no número de gerações anuais de *M. sequax*.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

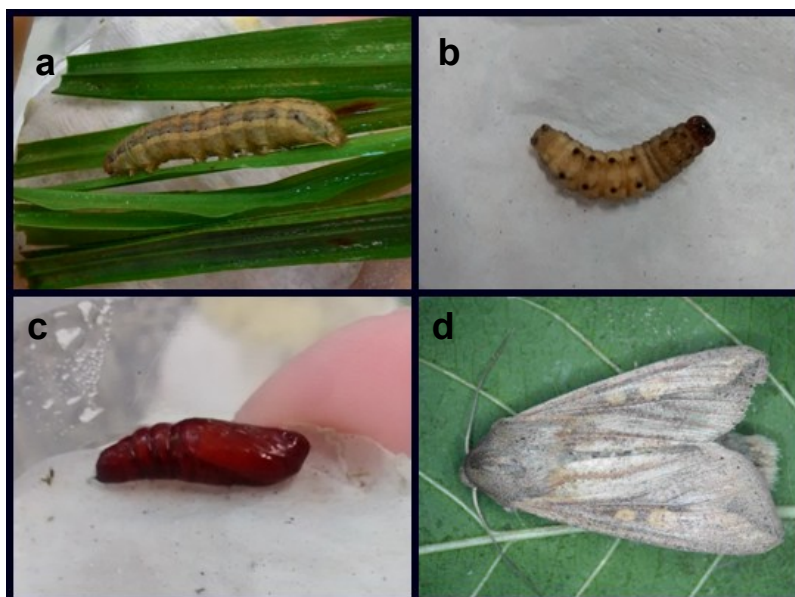
2.1. MORFOLOGIA E BIOLOGIA DE *M. SEQUAX*

As lagartas da espécie *M. sequax*, também chamadas popularmente por lagarta do trigo ocorrem, segundo Biezanko et al. (1974), nos trópicos da América Central e do Sul, causando danos em diversas culturas, principalmente em poáceas. Os danos ocorrem principalmente durante a noite, sendo que no período diurno a lagarta permanece no solo sobre restos culturais e em meio a rachaduras (GASSEN, 1983).

Neonatas possuem aproximadamente um milímetro, mas no decorrer da fase imatura podem chegar até 4,5 centímetros de comprimento. Apresentam três pares de pernas torácicas, e cinco pares de pernas abdominais. Podem ser identificadas pela sua coloração esverdeada podendo apresentar tons escuros do verde até mesmo acinzentados, e listras longitudinais ao longo do corpo (Figura 1). Nos dois primeiros instares, as lagartas se locomovem na forma mede-palmo. Até atingir o estágio adulto sofrem pelo menos cinco ecdises (PEREIRA, 2017). Durante o período de pré-pupa a lagarta migra para o solo e cessa a alimentação. O período pupal ocorre no solo, geralmente pouco abaixo da superfície, como forma de proteção (GASSEN, 1983; SALVADORI; PARRA, 1990).

Os adultos possuem cerca de 3,5 centímetros de envergadura, e apresentam tons cinza amarelados e algumas partes escurecidas, e nas asas anteriores tons mais claros (WORDELL FILHO et al., 2016) (Figura 1). A espécie possui grande potencial reprodutivo, sendo que a fêmea pode ovipositar em média 1300 ovos na fase adulta (MARCHIORO; FOERSTER, 2012a). Os ovos são colocados em massas e possuem formato redondo e coloração branco-brilhante, sendo depositados em folhas e colmos aderidos a elas por uma substância pegajosa (GASSEN, 1983). Segundo o estudo realizado por Marchioro e Foerster (2012a; 2012b), a qualidade do alimento consumido durante a fase imatura e adulta influencia o período de reprodução da espécie. A ausência ou baixo consumo de carboidratos por adultos afeta de forma significativa a fecundidade e fertilidade, bem como a longevidade de machos e fêmeas .

Figura 1. Estágios de larva (a), pré-pupa (b), pupa (c) e adulto (d) de *Mythimna sequax*.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O controle da lagarta do trigo é feito atualmente em sua grande maioria com a utilização de inseticidas a base de ingredientes ativos principalmente do grupo químicos da benzoiluréia e dos piretróides (AGROFIT, 2018). No entanto outras formas de controle podem ser empregadas, como exemplo o uso de inimigos naturais. Insetos da espécie *Glyptapanteles muesebecki* (Blanchard, 1947) (Hymenoptera: Braconidae) podem ser usados como parasitóides larvais de *M. sequax*, reduzindo o consumo de alimento de forma significativa pelas lagartas infestantes (FOERSTER; DOETZER, 1998).

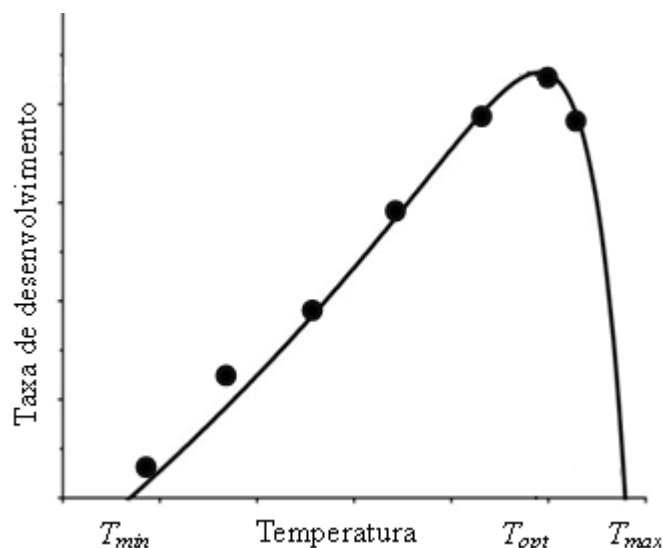
2.2. INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA EM INSETOS

A temperatura é um dos principais fatores abióticos que influenciam a biologia dos insetos. Por serem animais ectotérmicos, os insetos não são capazes de regular a temperatura corporal por meio de mecanismos internos, de forma que a variação externa de temperatura tem grande influência no seu desenvolvimento, reprodução e dinâmica populacional. Cada espécie responde de maneira distinta a alterações da temperatura (MARCHIORO et al., 2017; SENTIS et al., 2013).

É possível dividir a relação entre taxa de desenvolvimento e temperatura em três fases. Na primeira fase, em temperaturas próximas ao limiar térmico inferior (T_{min}), a taxa de desenvolvimento aumenta de forma não linear. Na segunda fase a taxa de

desenvolvimento aumenta de forma proporcional ao aumento de temperatura, sendo linear. Na terceira fase a taxa de desenvolvimento sofre declínio após ultrapassar a temperatura ótima até cessar o desenvolvimento no limiar térmico superior (LOGAN et al., 1976) (Figura 2).

Figura 2. Relação entre taxa de desenvolvimento e temperatura em insetos. Círculos fechados referem-se a valores observados, e a linha a valores estimados.



Fonte: Elaborado pelo autor

Segundo Lamb e Gerber (1985), oscilações abaixo do limiar térmico inferior e acima do limiar superior afetam de forma negativa o desenvolvimento dos insetos, tendo como consequência diminuição da capacidade reprodutiva das espécies e consequentemente diminuição na densidade populacional. O tempo que os insetos ficam expostos a estas temperaturas fora de sua faixa adequada alteram a intensidade dos efeitos provocados nos indivíduos; quanto mais prolongado o tempo de exposição, maiores serão os efeitos, podendo resultar na morte em temperaturas extremas.

Adultos de *M. sequax* submetidos a temperaturas superiores a 30 °C e inferiores a 14 °C possuem posturas inférteis (SALVADORI; PARRA, 1990). A lagarta do trigo completa seu desenvolvimento mais rápido quando submetida a temperaturas mais elevadas, sendo que o estágio larval foi de 21,4 dias a 30 °C e 76,9 dias a 14 °C. Contudo, quando submetidas a essas temperaturas foi registrado um elevado índice de mortalidade na fase imatura, sendo de 68,3% a 14 °C e 36,1% a 30 °C. O menor índice de mortalidade foi registrado a 26 °C de acordo com o estudo de Salvadori e Parra (1990). A duração do estágio pupal teve diferença ainda mais significativa entre as

temperaturas, variando de 9,6 dias a 30 °C a 49,9 dias a 14 °C (FOERSTER, 1996). Utilizando modelos lineares, Salvadori e Parra (1990) estimaram o limiar térmico inferior para o desenvolvimento (ciclo ovo-adulto) da espécie em 8,4 °C.

2.3. MODELOS FENOLÓGICOS

Modelos fenológicos que descrevam a relação entre taxa de desenvolvimento e temperatura são uma importante ferramenta para predizer o estágio, número de gerações e a área geográfica de possível ocorrência da espécie, auxiliando a escolha de técnicas de manejo para redução da população da praga (KIM; LEE, 2010). O modelo adequado varia de acordo com a espécie avaliada, e isso se deve ao fato de que as espécies respondem de forma distinta a alterações de temperatura.

Cada modelo utiliza parâmetros diferentes para estimar a relação entre temperatura e taxa de desenvolvimento, resultando em modelos com variáveis níveis de complexidade. Diversos modelos são utilizados podendo os mesmos ser lineares ou não lineares, como Analytis (ANALYTS, 1981), Janisch (JANISCH, 1932), Shi (SHI et al., 2011) Taylor (TAYLOR, 1981) e Logan (LOGAN et al., 1976), entre outros. Como exemplo desta variação, pode-se citar o estudo conduzido com *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) (Lepidoptera: Gelechiidae), que concluiu que os modelos com melhor ajuste para descrever a relação entre temperatura e taxa de desenvolvimento foram Briere-1, Lactin-2 e Shi (MARCHIORO et al., 2017), enquanto que para *Alabama argillacea* (Hübner, 1818) (Lepidoptera: Noctuidae) os modelos Lactin (LACTIN et al., 1995) e Sharpe e DeMichele (SHARPE; DEMICHELE, 1977.) foram os que obtiveram melhor ajuste (MEDEIROS et al., 2003).

O uso do modelo linear para estimar a taxa de desenvolvimento de *M. sequax* em relação à temperatura já foi anteriormente descrita por Foerster (1996) e Salvadori e Parra (1990). No entanto, apesar de serem de fácil utilização e estimarem parâmetros de significância biológica, os modelos lineares não descrevem de forma realística o efeito da temperatura quando se aproximado limiar térmico inferior e superior (WORNER, 1992), uma vez que a relação entre temperatura e desenvolvimento é curvilínea (MARCHIORO et al., 2017). Até o momento ainda não existem trabalhos na literatura que tenham empregado modelos não lineares para *M. sequax*.

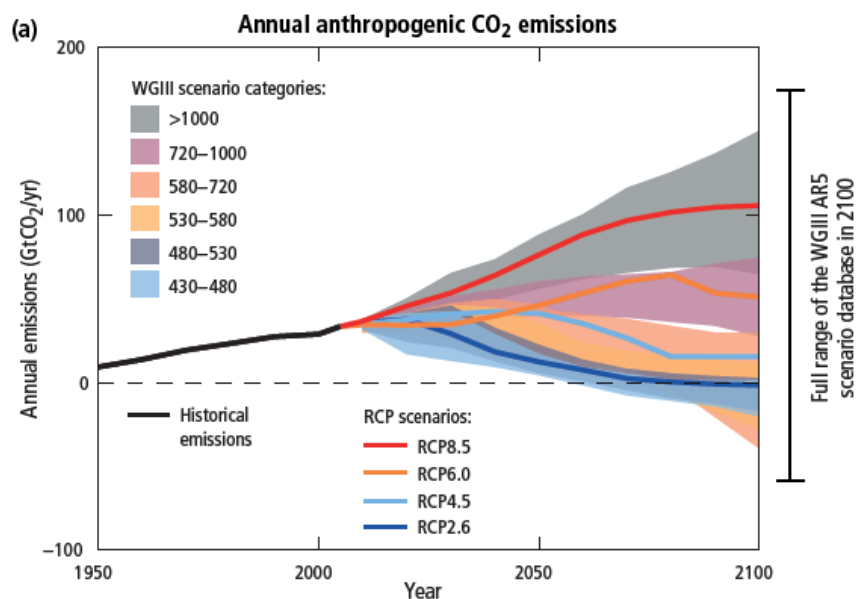
2.4. PROJEÇÕES FUTURAS DO AQUECIMENTO GLOBAL

De acordo com o quinto relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima (IPCC) (2015), a temperatura média global na superfície terrestre tem se elevado nas três últimas décadas comparado com quaisquer outras décadas desde 1850, e este aumento tende a se intensificar nos próximos anos. A causa mais provável para esse fenômeno é o aumento da concentração dos gases do efeito estufa na atmosfera, tais como dióxido de carbono, metano e óxido nitroso, em decorrência de ações antrópicas. Este acréscimo na emissão dos gases foi acentuado após a era pré-industrial, devido ao acentuado crescimento econômico e populacional.

A magnitude deste aumento varia conforme os diferentes cenários de mudanças climáticas projetados para o futuro. Os cenários de mitigação são chamados de “Caminhos Representativos de Concentração” ou RCP (*Representative Concentration Pathways*). O cenário de mitigação mais otimista é o RCP2.6, segundo o qual o aumento na emissão de gases do efeito estufa atingiria seu pico no meio do século e depois recuaria. Os modelos climáticos RCP4.5 e RCP6.0 são considerados com intermediária emissão de gases do efeito estufa. O cenário RCP 8.5 é o mais pessimista, pois considera que altas emissões de gases do efeito estufa continuarão ao longo de todo o século, partindo da premissa que não sejam realizadas políticas e esforços para reduções da emissão destes gases (IPCC, 2015) (Figura 3).

Estes cenários podem ser utilizados como base para avaliação de possíveis impactos climáticos, uma vez que estimam a futura concentração e emissão de gases do efeito estufa, além de poluentes do ar e mudanças no uso da terra (VUUREN et al., 2011). O aumento da temperatura média da superfície global estimado para estes cenários até o ano de 2100 em relação a 1986-2005 é de 0,3 °C a 1,7 °C no cenário RCP2.6, entre 1,1 °C a 2,6 °C para o RCP4.5, de 1,4 °C a 3,1 °C para o RCP6.0 e de 2,6 °C a 4,8 °C para o cenário RCP8.5 (IPCC, 2015). Sendo assim, segundo Salvadori e Parra (1990) a espécie *M. sequax* possui desenvolvimento mais rápido quando submetida a temperaturas mais elevadas, desta forma o aumento da temperatura ocasionado pelo aquecimento global pode alterar a taxa de desenvolvimento desta espécie.

Figura 3. Emissões anuais de CO₂ estimadas de acordo com cada cenário projetado pelo IPCC.



Fonte: IPCC, 2015.

Dados climáticos mensais de temperatura e pluviosidade para os cenários de mudanças climáticas são gerados para uso em modelagem utilizando diferentes Modelos de Circulação Geral (GMC – *General Circulation Models*). GMCs consistem em formulações matemáticas dos processos atmosféricos e das superfícies terrestres e oceânicas, e auxiliam na compreensão do funcionamento do sistema climático e na quantificação de mudanças climáticas, bem como na previsão sazonal e descrição das características atmosféricas (CAVALCANTI et al., 2002; MARTINS et al., 2015). Tais modelos são empregados na simulação da atmosfera da Terra e oceanos nos diferentes cenários de mudanças climáticas projetados pelo IPCC. Atualmente dados climáticos futuros projetados utilizando-se 19 diferentes GMCs estão disponíveis gratuitamente para download no site WorldClim (www.worldclim.org). Dada as características particulares de cada GMCs, mudanças sutis nas projeções futuras podem ocorrer para um mesmo cenário de mudança climática e essa incerteza deve ser considerada no processo de modelagem (ZITER et al., 2012).

3. METODOLOGIA

3.1. OBTENÇÃO E MANUTENÇÃO DE *M. SEQUAX* EM LABORATÓRIO

A criação foi mantida no laboratório de Zoologia (CRC206) da Universidade Federal de Santa Catarina, no Campus de Curitibanos, localizado no município de Curitibanos, estado de Santa Catarina (latitude 27°16'58'', longitude 50°32'02'' e altitude de 1096 metros). Os indivíduos utilizados são provenientes da criação do Laboratório de Controle Integrado de Insetos (LCII) da Universidade Federal do Paraná. Os mesmo foram cedidos ainda na fase de ovo. A criação foi mantida em câmaras climatizadas do tipo BOD reguladas a $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, umidade relativa de $70 \pm 10\%$ e fotofase de 12 horas.

As lagartas foram alimentadas diariamente com folhas de capim quicuiu (*Pennisetum clandestinum*). O capim foi lavado em solução de hipoclorito de sódio (0,5%) para evitar contaminação por entomopatógenos. Os indivíduos adultos foram criados em gaiolas plásticas de 20 centímetros de comprimento e 9 centímetros de diâmetro. As gaiolas foram fechadas com auxílio de telado na extremidade superior e placas de petri na extremidade inferior. Nesse estágio foram alimentados com mel diluído a 10% em água destilada diariamente, disponibilizados na superfície inferior das gaiolas.

3.2. INFLUÊNCIA DE TEMPERATURA SOBRE DESENVOLVIMENTO E SOBREVIVÊNCIA DE *M. SEQUAX*

A influência da temperatura sobre o desenvolvimento e sobrevivência de *M. sequax* foi avaliada em câmaras de BOD reguladas a 20 e 25 $^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, e umidade relativa de $70 \pm 10\%$, com fotofase de 12 horas. Em cada temperatura foram criadas 100 lagartas recém-eclodidas, totalizando 200 lagartas, mantidas em recipientes plásticos com volume de 150 ml e forrados na base com papel toalha para absorção do excesso de umidade. As lagartas foram alimentadas diariamente com folhas de capim quicuiu (*P. clandestinum*). Durante toda a fase imatura, realizaram-se anotações diárias de controle, avaliando parâmetros biológicos como tempo de desenvolvimento e sobrevivência dos estágios imaturos (ovo, larva, pupa e ciclo ovo-adulto). No período pupal, foram

realizadas avaliações 48 horas após sua formação para registro do peso utilizando balança analítica de precisão e avaliação da presença de deformações morfológicas.

Para a oviposição das fêmeas foram utilizadas tiras de papel de seda com aproximadamente 15 cm dobradas e fixadas às paredes da gaiola com fita adesiva, assim possibilitando simular em laboratório o processo que ocorre na natureza, onde as fêmeas ovipositam na superfície abaxial das folhas para proteção das posturas. As tiras de papel de seda foram trocadas sempre que posturas fossem encontradas.

3.3. OBTENÇÃO DE DADOS DA LITERATURA

Os dados referentes à influência da temperatura sobre o desenvolvimento e sobrevivência de *M. sequax* a 20 e 25 °C foram obtidos a partir de experimento em laboratório, enquanto os dados nas temperaturas de 14, 18, 22, 26 e 30 °C foram obtidos a partir da literatura (FOERSTER, 1996), sendo esses agrupados para ajustar os modelos matemáticos. No estudo de Foerster (1996), as lagartas foram criadas utilizando-se o mesmo método do presente estudo, incluindo o alimento fornecido às lagartas.

3.4. SELEÇÃO DOS MODELOS

Após a obtenção dos dados sobre o tempo necessário para completar cada um dos estágios imaturos de *M. sequax* a 14, 18, 20, 22, 25, 26, 30 e 32 °C, a taxa de desenvolvimento foi calculada ($1/\text{desenvolvimento}$) para cada indivíduo. A relação entre temperatura e taxa de desenvolvimento dos estágios imaturos foi avaliada utilizando um modelo linear e sete modelos não lineares (Tabela 1). Para ajuste do modelo linear as temperaturas que extrapolaram a relação linear entre a temperatura e a taxa de desenvolvimento foram excluídas (CAMPBELL et al., 1974). Os parâmetros dos modelos foram estimados pelo software Table Curve 2D, utilizando o algoritmo de Levenberg-Marquardt.

Tabela 1. Modelos fenológicos que serão testados para descrever a relação entre temperatura e taxa de desenvolvimento de *Mythimna sequax*.

Modelo	Equação	Referência
Linear	$D(T) = a + bT$	CAMPBELL et al. (1974)
Analytis	$D(T) = a(T - T_{min})^n (T_{max} - T)^m$	ANALYTIS (1981)
Briere-1	$D(T) = aT(T - T_{min})(T_{max} - T)^{1/2}$	BRIERE et al. (1999)
Briere-2	$D(T) = aT(T - T_{min})(T_{max} - T)^{1/m}$	BRIERE et al. (1999)
Lactin-2	$D(T) = e^{(\rho T)} - e^{(\rho T - (T - T_{min})/\Delta)} + \lambda$	LACTIN et al. (1995)
Logan-6	$D(T) = \psi [e^{(\rho T)} - e^{(\rho T_{max} - (T_{max} - T)/\Delta)}]$	LOGAN et al. (1976)
Logan-10	$D(T) = \alpha [1/(1 + k \cdot e^{-\rho T})] e^{(T_{max} - T/\Delta)}$	LOGAN et al. (1976)
Shi	$D(T) = a(T - T_{min})(1 - e^{(b(T - T_{max}))})$	SHI et al. (2011)

Nas diferentes equações, T_{min} , T_{Max} e T_{opt} são, respectivamente, o limiar térmico inferior, o limiar térmico superior e a temperatura ótima para o desenvolvimento. $D(T)$ se refere à taxa de desenvolvimento na temperatura T (°C). Os parâmetros a , b , k , m , n , T , Δ , ψ , α , λ , e ρ são coeficientes da equação.

3.5. AVALIAÇÃO DOS MODELOS

Os modelos foram avaliados considerando dois critérios: (i) a capacidade em estimar parâmetros de significância biológica e (ii) a capacidade de descrever adequadamente os dados observados. Alguns modelos estimam parâmetros que descrevem a relação entre temperatura e taxa de desenvolvimento, enquanto outros modelos explicam mecanismos fisiológicos e/ou bioquímicos relacionados à resposta do inseto à temperatura (ROY et al., 2002). Nesta pesquisa consideraram-se como parâmetros biológicos o limiar térmico inferior e superior, a temperatura ótima e a constante térmica. Quanto mais parâmetros de significância biológica o modelo estimar, melhor será sua avaliação.

Para avaliar o ajuste do modelo aos dados observados, utilizou-se o erro da regressão (S) e a soma dos quadrados dos resíduos (SQR), já empregados em trabalhos anteriores (ROY et al., 2002). Adicionalmente foi utilizado o Critério de Informação de Akaike (AIC):

$$AIC = n \ln \left(\frac{SQR}{n} \right) + 2k$$

Onde n é o número de tratamentos, SQR é a soma dos quadrados do erro, e k é o número de parâmetros do modelo. O AIC avalia a qualidade relativa dos modelos

levando em consideração a complexidade e qualidade do ajuste. Valores baixos de AIC indicam bom ajuste do modelo (SANDHU et al., 2010).

3.6. OBTENÇÃO DE DADOS CLIMÁTICOS PRESENTES E FUTUROS

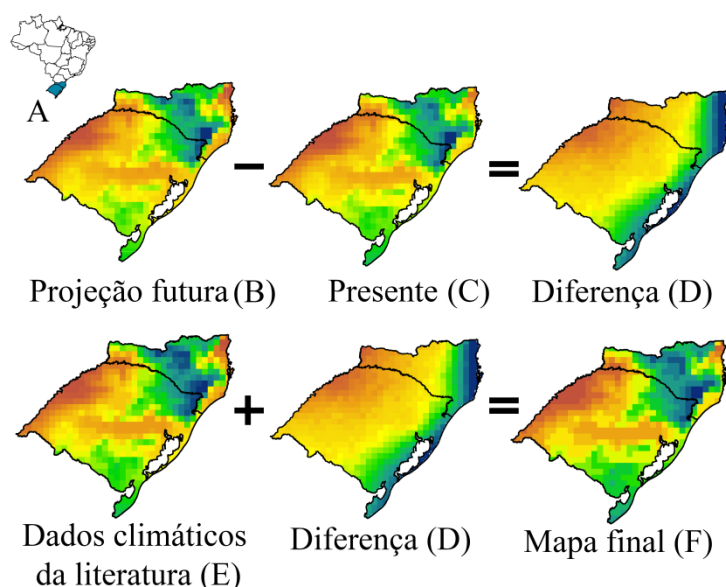
Para a estimativa do número de gerações anuais utilizaram-se dados diários de temperatura mínima e máxima interpolados para todo o Brasil por Xavier et al., (2016) a partir de dados de estações meteorológicas. Os dados climáticos diários foram obtidos em grids de 0,25 x 0,25 graus compreendendo os anos de 1994 até 2013 para os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, região sul do Brasil. Ao todo, a área de estudo compreendeu 605 grids e as informações climáticas foram obtidas para cada um destes grids. Para isso, foi realizada a média aritmética para a temperatura mínima e máxima diárias para cada dia do ano utilizando-se os dados climáticos de 20 anos.

Para avaliar o efeito do aquecimento global decorrente das mudanças climáticas sobre o número de gerações anuais de *M. sequax*, foram utilizadas as projeções provenientes do quinto relatório de avaliação do IPCC (IPCC, 2015). Os dados de temperatura média anual para o presente e para os cenários de mudanças climáticas RCP4.5 e RCP8.5 nos anos de 2050 e 2070 foram obtidos no site WorldClim (www.worldclim.org) em grids de 0,083 x 0,083 graus. Os dados de temperatura atual foram interpolados a partir de valores observados obtidos de estações do mundo todo entre os anos de 1960 e 1990 (HIJMANS et al. 2005). Os dados referentes a projeções futuras foram obtidos baseados em três diferentes GCMs: CCSM4 (*Community Climate System Model*), HadGEM2-ES (*Hadley Center Global Environmental Model version 2 Earth System*) e MIROC5 (*Model for Interdisciplinary Research on Climate*). Para reduzir as incertezas relacionadas às projeções futuras do clima, mapas de consenso foram construídos para cada ano e cenário de mudança climática por meio da média aritmética entre os três GCMs.

A intensidade do aumento da temperatura foi estimada para cada um dos 605 grids que englobam os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul nos diferentes anos e cenários de mudanças climáticas. Para isso, foi obtida a diferença em graus Celsius dos valores futuros de temperatura média anual e os valores atuais. Este procedimento foi realizado com a ferramenta *Raster Calculator* implementada no *software* ArcGIS 10.1 (ESRI, 2012). Estes valores foram utilizados para simular o número de gerações nas condições climáticas projetadas para o futuro, por meio da

adição da diferença entre a temperatura atual e as projeções futuras aos dados climáticos obtidos por Xavier et al. (2016) (Figura 4).

Figura 4. Esquema da metodologia empregada para a obtenção dos dados de temperatura utilizados na modelagem. Primeiramente será delimitada a área de estudo (A). A diferença na temperatura média anual entre projeções climáticas para os anos de 2050 e 2070 baseados nos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 (B) e o presente (C), resultou no grid “D”. O grid “D” foi utilizado para gerar projeções de aquecimento global mais realistas por meio da soma da diferença de cenários futuros e do presente com os mapas obtidos da literatura (E) (Xavier et al. 2016), resultando no mapa “F”. O mapa “F” foi utilizado para estimar o voltinismo nos diferentes anos e cenários de mudança climática para cada um dos 605 grids que englobam a área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.7. ESTIMATIVA DO NÚMERO DE GERAÇÕES

Neste trabalho, a geração foi considerada como tempo de desenvolvimento do ciclo ovo-adulto. Os modelos fenológicos não lineares Briere-1, Briere-2, Lactin-1 e o modelo Linear foram utilizados para determinar a taxa de desenvolvimento diária. A taxa de desenvolvimento foi estimada pelos modelos não lineares utilizando as temperaturas mínimas e a máximas diárias. A taxa de desenvolvimento para cada dia do ano foi calculada como sendo a média entre as taxas estimadas com a temperatura mínima e máxima. As taxas diárias foram acumuladas ao longo do tempo até atingirem valor igual a 1, indicando que uma geração foi completada. Ao fim de cada ano de

simulação, somou-se o número total de gerações estimadas por cada um dos modelos fenológicos.

O modelo linear possibilita estimar o limiar térmico inferior (T_{min}), temperatura abaixo da qual o desenvolvimento é interrompido, e a constante térmica (K), o número de unidades de calor acima de T_{min} necessário para o inseto completar seu desenvolvimento (HONÉK, 1996). A taxa de desenvolvimento foi regredida em função da temperatura e os coeficientes da regressão foram utilizados para calcular o T_{min} , por meio do método de interseção do eixo x ($T_{min} = -a/b$), e K , pelo cálculo da recíproca do coeficiente angular ($K = 1/b$). O número de gerações foi estimado por meio do método de graus-dia (ou soma térmica), segundo o qual unidades de temperatura acima de T_{min} são acumuladas até atingir a K , conforme a equação:

$$GD = \sum_{i=1}^{365} ([T_{m\acute{a}xima\ do\ ar} - T_{m\acute{i}nima\ do\ ar}]/2 - T_{min})$$

Onde GD é o graus-dia acumulado, $T_{m\acute{a}xima}$ e $T_{m\acute{i}nima}$ são, respectivamente, as temperaturas máximas e mínimas diárias, e T_{min} é o limiar térmico inferior. O número de gerações foi calculado por meio da divisão dos graus-dias acumulados pelo período de um ano pela constante térmica estimada pelo modelo linear (GD/K) (ZITER et al., 2012). O número de gerações anuais foi estimado para o presente e os diferentes anos e cenários de mudanças climáticas avaliados no estudo.

3.8. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados de desenvolvimento e sobrevivência a 20 e 25 °C foram avaliados quanto à normalidade com o teste de Shapiro-Wilk e a homocedasticidade com o teste de Levene. O tempo de desenvolvimento não apresentou normalidade e homocedasticidade e, portanto, foi comparado com o teste de Mann-Whitney ($P < 0,05$). O peso das pupas se adequou às premissas da ANOVA e foi comparado por meio da ANOVA Fatorial, sendo considerados como fatores a temperatura e o sexo dos indivíduos ($P \leq 0,05$). Foram construídas curvas de sobrevivência para cada uma das temperaturas e as mesmas foram comparadas pelo método não paramétrico de Kaplan-

Meier ($p < 0,05$) (KAPLAN; MEIER, 1958). Para a realização das análises foi utilizado o software Statistica v. 8.0.

A variação no número de gerações anuais da lagarta do trigo foi decomposta, submetendo-se os dados à ANOVA a fim de compreender a contribuição do local (605 *grids* da área de estudo), do ano (2050 e 2070), do cenário de mudança climática (RCP4.5 e RCP8.0) e dos modelos fenológicos (Briere-1, Briere-2, Lactin e Linear) na variação total observada (ZITER et al., 2012; RAO et al., 2015). A ANOVA foi conduzida em duas etapas; primeiro considerando os modelos fenológicos linear e não lineares, e em seguida excluindo o modelo linear, a fim de avaliar a influência deste modelo sobre a contribuição do fator modelos fenológicos. A soma dos quadrados atribuída a cada fonte foi dividida pela soma total de quadrados explicada pelo modelo para obtenção da contribuição individual de cada fonte. Estas análises foram realizadas utilizando a linguagem estatística R (R CORE TEAM, 2015).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. DESENVOLVIMENTO E SOBREVIVÊNCIA A 20 E 25°C

Quando submetidos à temperatura de 20 °C constatou-se que o desenvolvimento nos estádios de ovo, larva, pré-pupa, pupa e o ciclo ovo-adulto foram significativamente inferiores quando comparado com 25°C (Tabela 2.) Estes resultados corroboram com o trabalho realizado por Foerster (1996), onde a taxa de desenvolvimento foi acelerada com o acréscimo da temperatura de forma proporcional, quando os indivíduos foram submetidos à temperatura de 18°C o tempo do ciclo ovo-adulto durou 65,6 dias, enquanto ao serem submetidos à 22°C o tempo de desenvolvimento do ciclo levou 43,6 dias para completar o ciclo, em 26°C levou 35,1 dias e a 30°C a duração foi de 30,1 dias.

Tabela 2. Tempo de desenvolvimento em dias (Média \pm Erro Padrão) da espécie *Mythimna sequax* quando submetida a diferentes temperaturas.

Estágios	20°C	25°C	U ¹	P
Ovo	6,6 \pm 0,5	5,6 \pm 0,8	140,0	<0,01
Larva	27,1 \pm 3,7	22,9 \pm 2,5	797,0	<0,01
Pré-Pupa	3,2 \pm 1,3	1,7 \pm 0,5	695,5	<0,01
Pupa	17,4 \pm 4,5	11,2 \pm 1,2	34,0	<0,01
Ovo-Adulto	54,3 \pm 2,6	41,4 \pm 2,1	3,0	<0,01

¹U - O tempo de desenvolvimento nas diferentes temperaturas foi comparado com o teste de Mann-Whitney a 5% de probabilidade.

O peso das pupas foi influenciado significativamente pelo sexo ($F = 5,08$, $p = 0,02$), sendo as fêmeas mais pesadas que os machos (Tabela 3). Em contrapartida, nem a temperatura ($F = 3,26$, $p = 0,07$) tampouco a interação entre temperatura e sexo ($F = 0,01$, $p = 0,91$) influenciaram o peso pupal (Tabela 3). Contudo, diferentemente do presente estudo, Salvadori e Parra (1990), que verificaram que o peso das pupas foi influenciado significativamente pela temperatura, com maior peso pupal constatado em pupas submetidas a 26 °C com 0,57 g. Contudo nas outras temperaturas não houve diferença estatística para o peso, variando de 0,46 a 0,50 g.

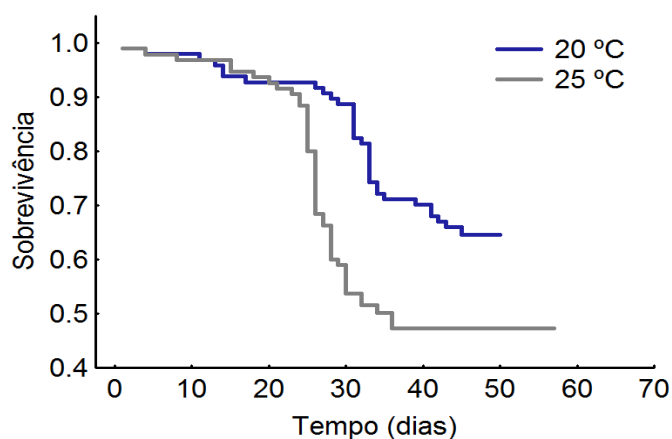
Tabela 3. Peso de pupa em gramas e porcentagem de deformação de *Mythimna sequax* submetidas a 20°C e 25°C.

Temperatura	Peso da pupa (mg) ¹		Deformação %
	Macho	Fêmea	
20 °C	398,5 \pm 1,00 aA	421,4 \pm 1,10 aB	12,7
25 °C	372,5 \pm 1,50 aA	399,8 \pm 1,40 aB	8,3

¹Médias com a mesma letra minúscula nas linhas e maiúsculas nas colunas não diferem estatisticamente entre si de acordo com a ANOVA e teste Tukey a 5% de probabilidade.

A taxa de sobrevivência na temperatura de 20 °C foi superior a 25 °C. A análise de sobrevivência realizada com o teste de Kaplan-Meier demonstrou que os indivíduos mantidos a 20 °C tiveram uma taxa de sobrevivência significativamente superior aos criados a 25°C ($\chi^2 = 3,61$; $p < 0,01$) (Figura 5).

Figura 5. Curvas de sobrevivência de *Mythimna sequax* criadas a temperaturas de 20°C e 25°C.



Fonte: Elaborado pelo Autor

4.2. AJUSTE E SELEÇÃO DOS MODELOS

O desempenho dos modelos variou de acordo com o estágio de desenvolvimento do inseto, sendo que em alguns estágios até cinco modelos obtiveram um bom ajuste (Tabela 4). Quando o critério estatístico e a capacidade de estimar parâmetros de significância biológica com precisão foram levados em consideração, os modelos Lactin-2 e Briere-2 foram os de melhor desempenho. O limiar térmico inferior (T_{min}), o limiar térmico superior (T_{max}) e a temperatura ótima (T_{opt}) estimados pelo modelo Lactin-2 para o ciclo ovo-adulto foram, respectivamente, 8,7; 32,1 e 29,8 °C. No modelo Briere-2, a T_{min} , T_{max} e T_{opt} foram estimadas em 6,4; 32,0 e 28,8 °C, respectivamente.

Tabela 4. Valores de Erro da Regressão (S), soma dos quadrados dos resíduos (SQR) e Critério de Informação de Akaike (AIC) dos diferentes modelos para cada estágio de desenvolvimento de *Mythimna sequax*.

Modelo	Ovo				Larva				Pupa				Ciclo ovo-adulto			
	S (10 ⁻²)	SQR (10 ⁻³)	AIC	ΔAIC ¹	S (10 ⁻³)	SQR (10 ⁻⁵)	AIC	ΔAIC ¹	S (10 ⁻³)	SQR (10 ⁻⁵)	AIC ¹	ΔAIC ¹	S (10 ⁻³)	SQR (10 ⁻⁵)	AIC	ΔAIC ¹
Analytis	3,53	3,74	-51,35	5,33	2,81	2,37	-91,82	12,21	4,04	4,89	-73,09	3,12	1,78	0,95	-84,55	4,68
Briere-1	6,10	18,65	-42,49	14,19	4,68	10,96	-83,58	20,46	15,58	121,30	-54,62	21,60	4,25	9,04	-72,80	16,44
Briere-2	2,86	3,27	-54,42	2,27	2,79	3,13	-91,62	12,42	3,37	4,54	-75,62	0,60	2,05	1,68	-82,60	6,64
Lactin-2	2,71	2,93	-55,30	1,38	2,42	2,34	-93,94	10,10	3,23	4,17	-76,22	0,00	1,27	0,64	-89,24	0,00
Logan-6	5,50	12,12	-43,94	12,74	6,79	18,49	-77,40	26,64	14,24	81,15	-55,44	20,78	5,39	11,65	-69,03	20,21
Logan-10	5,84	1,92	-56,68	0,00	1,31	0,52	-104,04	0,00	3,76	4,24	-74,10	2,12	1,60	0,77	-86,07	3,16
Shi	2,80	3,13	-54,76	1,92	2,40	2,31	-94,05	9,99	3,24	4,20	-76,17	0,05	1,27	0,64	-73,18	16,06
Linear	2,50	3,13	- ²	- ²	3,17	5,01	- ²	- ²	3,63	6,59	- ²	- ²	1,22	7,46	- ²	- ²

¹ ΔAIC destacados em negrito indicam que os modelos obtiveram desempenho semelhante (ΔAIC < 4).

² AICC não calculado devido à diferença no número de amostras em comparação com os modelos não lineares em decorrência da exclusão das temperaturas que extrapolaram a relação linear da relação entre temperatura e taxa de para ajustar o modelo linear.

Tabela 5. Valor dos parâmetros observados para ovo, larva, pupa e ciclo em cada um dos modelos avaliados.

Modelo	Parâmetros ¹	Valor dos Parâmetros			
		Ovo	Larva	Pupa	Ciclo
Analytis	$a(10^4)$	4,65	2,38	5,93	1,77
	n	2,46	2,17	2,23	-0,60
	m	0,07	0,25	0,19	0,15
	T_{min}	-4,15	-0,18	2,30	-0,60
	T_{max}	32,00	32,00	32,00	32,00
	T_{opt}	30,95	28,70	29,75	29,95
Briere-1	$a(10^{-4})$	31,90	4,45	10,90	3,20
	T_{min}	13,21	9,77	13,59	11,18
	T_{max}	32,00	32,00	32,00	32,00
	T_{opt}	27,45	26,80	27,40	27,00
Briere-2	$a(10^{-4})$	0,44	52,20	1,35	36,21
	m	8,47	3,22	5,97	3,96
	T_{min}	8,52	6,79	7,23	6,36
	T_{max}	32,00	32,00	32,00	32,00
	T_{opt}	30,50	28,20	29,85	28,80
Lactin-2	$\rho (10^{-3})$	5,42	8,82	2,03	5,92
	Δ	0,11	0,98	0,71	0,61
	λ	-2,89	-2,74	-2,78	-2,73
	T_l	32,24	35,78	34,25	34,64
	T_{min}	11,25	7,75	14,00	8,70
	T_{max}	31,95	32,00	32,00	32,05
	T_{opt}	31,45	28,85	29,63	29,75
Logan-6	ρ	0,26	0,20	0,22	0,20
	Δ	3,88	4,91	4,60	4,97
	ψ	0,15	0,05	0,08	0,05
	T_{max}	32,12	32,12	32,17	32,23
	T_{opt}	27,85	27,2	27,55	29,85

Continua na próxima página

Logan-10	k	1758,52	991,50	912,04	771,62
	ρ	0,21	0,17	0,19	0,18
	a	57,80	19,84	12,91	4,42
	Δ	4,78	5,71	5,07	5,25
	T_{max}	46,29	52,36	46,43	47,54
	T_{opt}	28,20	27,40	28,05	33,90
Shi	k	5,28	0,98	1,39	1,59
	$a (10^{-3})$	16,54	2,44	5,75	1,63
	T_{min}	11,42	7,79	10,68	8,71
	T_{max}	32,19	33,02	32,72	32,63
	T_{opt}	31,10	28,85	29,60	29,80
Linear	a	-0,19	-0,01	-0,06	-0,01
	$b (10^{-3})$	16,54	2,09	5,44	1,56
	T_{min}	11,42	5,93	10,20	8,28
	K	60,45	477,80	183,97	639,86

¹Nas diferentes equações, T_{min} , T_{max} , T_{opt} e K são, respectivamente, o limiar térmico inferior, o limiar térmico superior, a temperatura ótima para o desenvolvimento e a constante térmica. $D(T)$ se refere à taxa de desenvolvimento na temperatura T (°C). Os parâmetros a , b , k , m , n , Tl , Δ , ψ , α , k , λ e ρ são coeficientes da equação.

Entretanto, alguns modelos que tiveram um bom desempenho segundo o critério estatístico utilizado (AIC e S), não estimam alguns parâmetros de significância biológica (Logan-6 e Logan-10) ou estimaram valores de limiar térmico inferior e/ou superior inverossímeis para a espécie (Analytis, Tabela 6).

Tabela 6. Avaliação resumida levando em consideração os parâmetros de significância biológica estimados por cada modelo, bem como a precisão dos valores estimados para todos os estágios de desenvolvimento de *Mythimna sequax*.

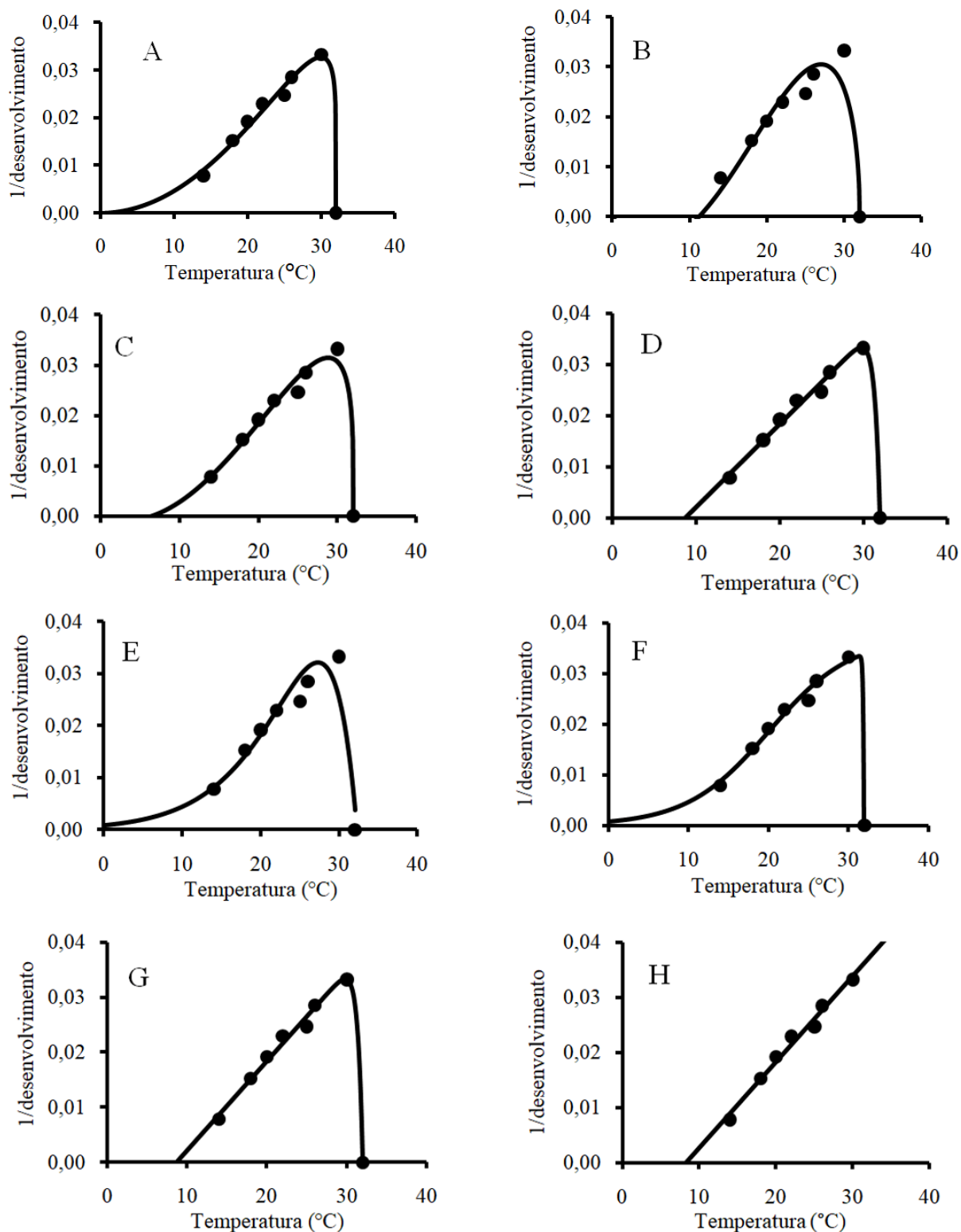
Modelos	Número de parâmetros estimados	Número de parâmetros de significância biológica	Acurácia ¹			
			t_{min}	t_{opt}	t_{max}	K
Analytis	5	3	-	+	+	•
Briere-1	3	3	-	+	+	•
Briere-2	4	3	+	+	+	•
Lactin-2	4	2	+	+	+	•
Logan-6	4	2	•	+	+	•
Logan-10	5	2	•	+	-	•

Shi	4	3	-	-	+	•
Linear	2	2	+	•	•	+

¹ +, sim; -, não; •, parâmetro não estimado pelo modelo.

As curvas obtidas por cada modelo fenológico para o ciclo ovo-adulto encontram-se na figura 6. Para simulação do número de gerações anuais de *M. sequax*, além dos modelos Briere-2 e Lactin-2, foram utilizados os modelos Briere-1 e Linear. Estes dois últimos modelos foram selecionados para comparar as projeções entre modelos não lineares e lineares e também para verificar se a seleção de um modelo não linear que não possua ajuste adequado pode resultar em projeções discrepantes. O modelo Briere-1 estimou valores de T_{min} , T_{max} e T_{opt} para o ciclo ovo adulto de 11,2; 32,0 e 27,0 °C, respectivamente. Em contrapartida, o modelo linear estimou o T_{min} em 8,28 e a K em 639,86 (Tabela 7).

Figura 6. Modelos fenológicos ajustados para a taxa de desenvolvimento ($1/\text{desenvolvimento}$) do ciclo ovo-adulto de *Mythimna sequax* em função da temperatura. Círculos fechados referem-se a valores observados, e a linha a valores estimados pelos modelos. A - Analits; B - Briere; C - Briere-2; D - Lactin; E - Logan-6; F - Logan-10; G - Shi; H - Linear.



A capacidade de descrever a relação entre a taxa de desenvolvimento e a temperatura é fundamental para a compreensão da dinâmica populacional de insetos, particularmente as pragas agrícolas (MARCHIORO et al. 2017). O presente estudo demonstrou que modelos fenológicos podem descrever adequadamente esta relação. Apesar da importância de *M. sequax* como praga agrícola, este é o primeiro estudo que testa e seleciona modelos não lineares para estimativa da taxa de desenvolvimento da espécie. Considerando que a lagarta do trigo ocorre em regiões que frequentemente atingem temperaturas próximas ao limiar térmico inferior (e.g. região serrana de Santa Catarina) e superior (e.g. oeste de Santa Catarina e oeste do Rio Grande do Sul), o uso desses modelos é fundamental para estimar valores confiáveis de taxa de desenvolvimento.

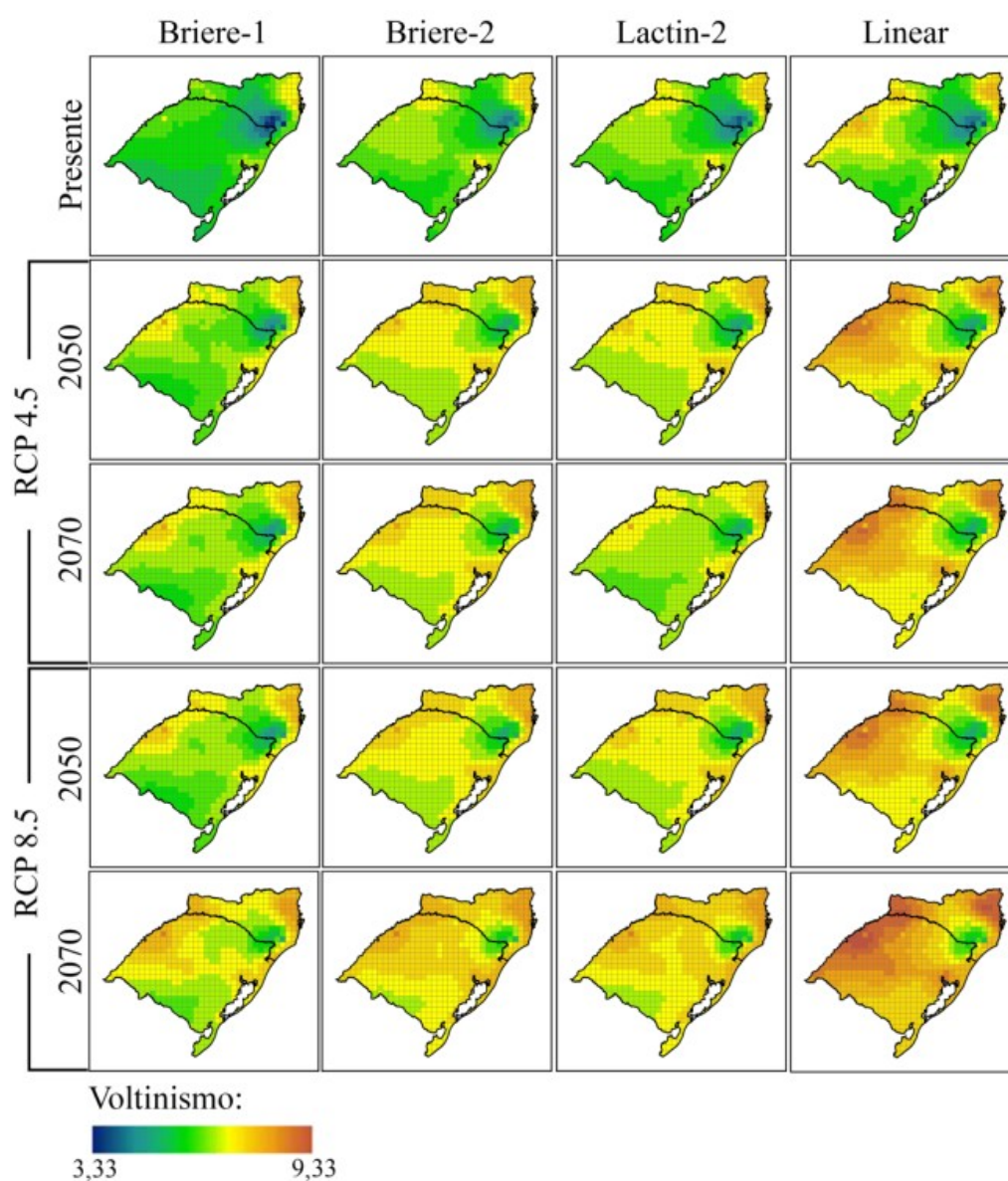
Os modelos selecionados no presente estudo têm importantes aplicações práticas. Eles podem ser utilizados para estimar quando um determinado estágio de desenvolvimento ocorre na lavoura, permitindo que o produtor selecione o método de controle mais eficiente contra a praga. Por exemplo, para o uso de produtos a base de *Bacillus thuringiensis*, que em lepidópteros age principalmente sobre a fase larval por meio da ingestão das toxinas da bactéria, é importante que a maior parte dos indivíduos da população esteja no estágio larval. Nesse contexto, os modelos podem ser utilizados para determinar o momento de aplicação deste bioinseticida, considerando sua vantagem em comparação com alguns pesticidas convencionais, como a alta especificidade, a ausência de toxicidade a mamíferos, o menor risco ambiental e a menor frequência de resistência dos insetos (VALICENTE, 2008).

4.3. EFEITO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE O VOLTINISMO

As simulações realizadas no presente estudo com diferentes modelos fenológicos mostram um aumento no número de gerações nos dois cenários de mudanças climáticas para os anos de 2050 e 2070 (Figura 7). Este aumento varia ao longo das diferentes regiões de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. De acordo com os mapas desenvolvidos, é possível constatar que o número de gerações de *M. sequax* é superior nas regiões onde a média anual de temperatura é mais elevada. Em todos os modelos e cenários de mudança climática, as regiões nordeste e oeste de Santa Catarina apresentam o maior número de gerações da praga. Por outro lado, as localidades onde as temperaturas médias anuais são inferiores, como o planalto serrano, apresentaram número inferior de gerações. O mesmo padrão foi identificado

no estado do Rio Grande do Sul, onde é possível visualizar maior número de gerações na região oeste do estado, correspondendo também à região de temperaturas mais elevadas, como mostra a figura a seguir.

Figura 7. Estimativa de número de gerações atuais e para dois cenários de mudanças climáticas (RCP4.5 e RCP 8.5), considerando dois diferentes anos (2050 e 2070) para os modelos Briere-1, Briere-2, Lactin-2 e Linear.



Fonte: Elaborado pelo autor.

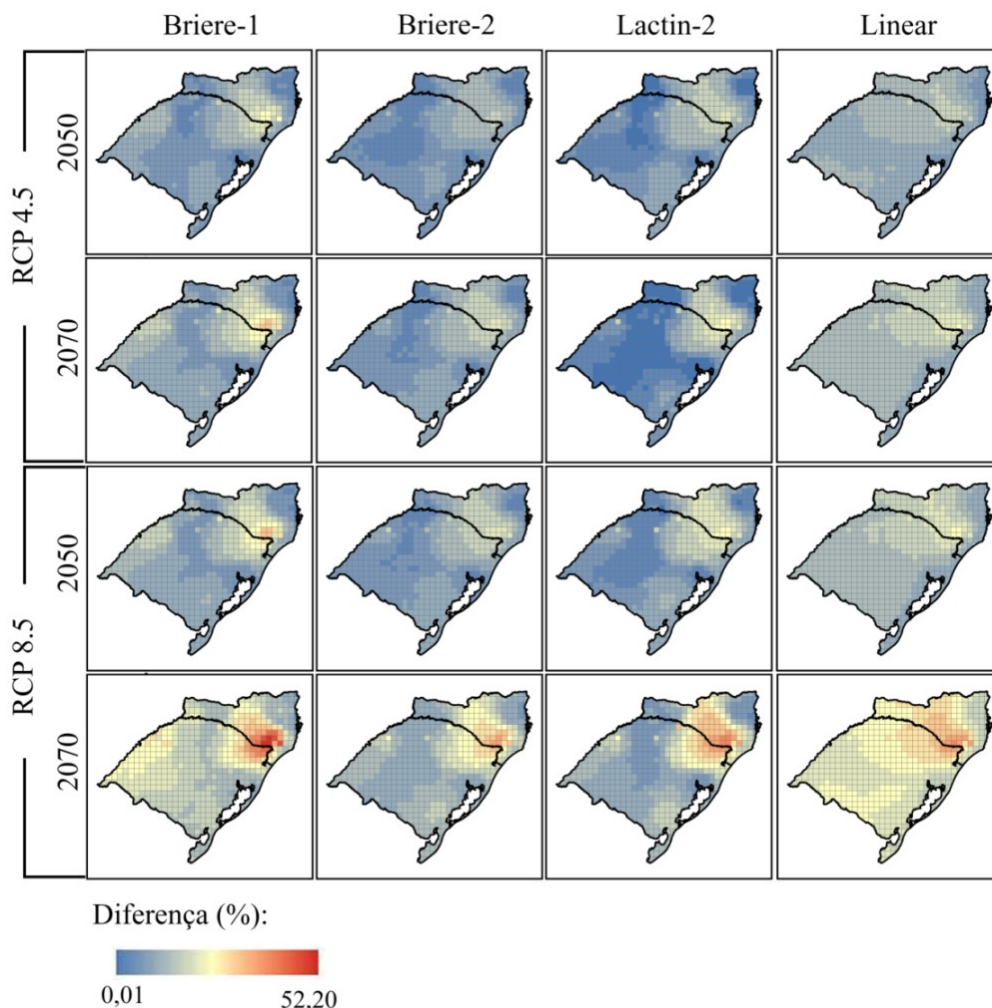
Estes resultados corroboram estudos conduzidos com outras espécies de lepidópteros que utilizaram o método de graus-dia. Por exemplo, RAO et al. (2015) estimaram um maior

número de gerações de *Spodoptera litura* (Fabricius, 1775) (Lepidoptera: Noctuidae) devido ao aumento da temperatura em algumas regiões da Índia. Da mesma forma, o aumento o número gerações em decorrência da elevação na temperatura global seguiu o mesmo padrão que o observado no estudo de Afonso et al. (2008) conduzido com *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) na região do Rio Grande do Sul, Brasil. Em condições atuais de temperatura o lepidóptero atingiu de cinco a nove gerações ao ano. A elevação de 1 °C na temperatura mínima do ar gerou o aumento de uma geração, enquanto o aumento de 3 °C acarretou em um número de gerações oscilando entre seis a doze. E o caso mais extremo com aumento de 5,8°C resultou em aumento de nove a quatorze gerações por ano em praticamente todas as regiões do Rio Grande do Sul. Entretanto, a intensidade do aumento pode variar conforme a espécie e a região de estudo. Por exemplo, ZITER et al. (2012) avaliaram o efeito do aquecimento global sobre o voltinismo de *Spodoptera exigua* (Hübner, 1808) (Lepidoptera: Noctuidae), *Lygus hesperus* (Hahn, 1833) (Hemiptera: Miridae) e *Grapholita molesta* (Busk, 1916) (Lepidoptera: Tortricidae), na Califórnia e verificaram que embora, os graus-dia acumulados tenham aumentado no decorrer dos anos, não foi o suficiente para crescer uma nova geração completa para as espécies. O estudo previu que apenas no fim do século, quando se estima que o aquecimento global será mais significativo, ocorrerá a adição de uma geração completa.

Os modelos selecionados neste estudo também previram um aumento no número de gerações de acordo com os anos e com os cenários de mudanças climáticas do mais otimista (RCP4.5) para o mais pessimista (RCP8.5) (Figura 7). Este resultado é esperado porque é previsto um aumento na temperatura média terrestre ao longo dos anos e nos cenários com maior emissão de gases do efeito estufa (IPCC, 2015). Outro aspecto possível de ser identificado nos mapas é o incremento no número de gerações muito superior estimado pelo modelo linear em comparação com os modelos não lineares (Figura 8). Esta característica é atribuída ao fato de que os graus-dia foram acumulados mesmo em temperaturas muito elevadas no modelo linear, uma vez que não foi estipulado um limiar superior. Por outro lado, os modelos não lineares estimam o desenvolvimento da praga apenas em valores entre a T_{min} e a T_{max} . Assim, o modelo linear provavelmente superestimou o número de gerações, principalmente nos cenários que preveem um maior aumento na temperatura ou naquelas regiões cuja temperatura média é mais elevada.

A intensidade do aumento no número de gerações estimadas nos diferentes anos e cenários de mudanças climáticas variou conforme a região (Figura 8).

Figura 8. Estimativa da diferença do número de gerações atuais em comparação com dois cenários de mudanças climáticas (RCP4.5 e RCP 8.5), considerando dois diferentes anos (2050 e 2070), para os modelos Briere-1, Briere-2, Lactin-2 e Linear.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O maior incremento em relação às condições climáticas atuais ocorreu em regiões onde a temperatura média anual é atualmente menor, como a região serrana do estado de Santa Catarina e nordeste do Rio Grande do Sul. A região oeste do Rio Grande do Sul apresenta padrão distinto da região oeste de Santa Catarina (Figura 8), uma vez que as temperaturas são menores em comparação com o oeste de Santa Catarina. Este resultado pode ser explicado pelo fato de que em regiões de temperaturas mais elevadas as mudanças climáticas podem elevar a temperatura acima do limiar térmico superior de desenvolvimento da espécie em uma frequência maior que nas regiões que atualmente apresentam temperatura média menor. Isso pode ter acarretado em uma redução na taxa de desenvolvimento e,

consequentemente, na intensidade do aumento no número de gerações nessas regiões. Outra possível explicação pode estar relacionada com as previsões indicando que o aumento na temperatura global é dependente da altitude, e que a intensidade do aumento na temperatura tende a ser maior em regiões de maior altitude em comparação com regiões de menor altitude (PEPIN et al., 2015). Este fato explicaria o maior incremento no voltinismo na região serrana de Santa Catarina em comparação com o restante da área de estudo.

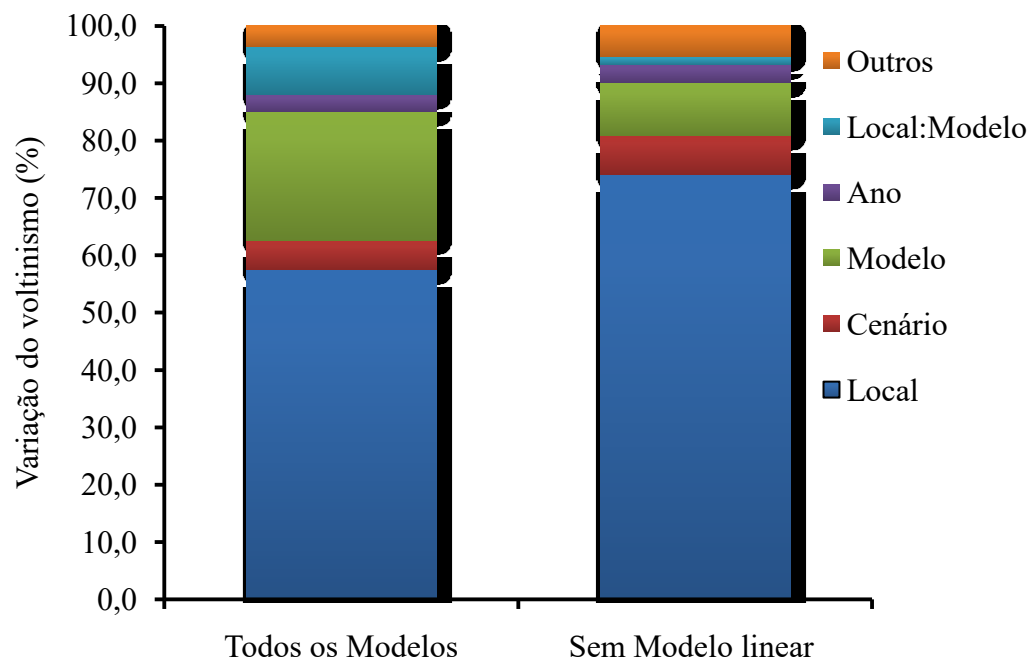
Diferentemente de outros trabalhos como de AFONSO et al. (2018) que adotaram valores de aumento de temperatura de forma arbitrária, no presente estudo foram empregados valores previstos pelo IPCC. A vantagem do procedimento utilizado neste estudo é que as simulações são mais realistas para o aquecimento terrestre, uma vez que baseiam-se em cenários plausíveis de emissão de gases do efeito estufa resultantes de diferentes projeções de crescimento econômico e ocupação do solo. Além disso, ao utilizar os dados do IPCC é levado em consideração que o aquecimento global não será homogêneo na área de estudo, podendo ser mais ou menos intenso conforme a região.

4.4. FATORES QUE INFLUENCIAM O VOLTINISMO

A ANOVA demonstrou que o local é considerado o fator que mais influencia na variação no número de gerações da lagarta do trigo (56,5%), seguido pelo modelo fenológico (22,5%) e pela interação entre o local e o modelo (8,34%). Quando a ANOVA foi repetida excluindo o modelo linear da análise, o local continuou sendo o fator que mais influenciou a variação no voltinismo (74,0%), mas a influência do modelo fenológico reduziu para 9,2% (Figura 8). Nesse caso, o fator cenário passou a ser o terceiro de maior contribuição (6,9 %). Esse resultado está de acordo com os estudos de Ziter et al. (2012), que verificaram que o fator local contribuiu com 33% da variação observada no voltinismo de 13 espécies de insetos. O presente estudo foi o primeiro a avaliar a influência de diferentes modelos fenológicos sobre a estimativa de voltinismo de insetos, e os resultados demonstram a importância da seleção de modelos com bom desempenho para estimativas realistas do voltinismo.

O presente estudo fornece uma importante contribuição para o desenvolvimento de métodos de controle de *M. sequax* de acordo com os princípios do manejo integrado de pragas, bem como para a compreensão das consequências do aquecimento global sobre o voltinismo da espécie.

Figura 9. Porcentagem da interferência de diversos fatores sobre o número de gerações da espécie *M. sequax*.



5. CONCLUSÃO

Com base nos resultados do presente estudo, é possível concluir que:

- A temperatura exerce importante influência sobre o desenvolvimento e sobrevivência de *M. sequax*.
- Os modelos fenológicos podem ser utilizados para descrever a relação entre temperatura e taxa de desenvolvimento.
- Os modelos Briere-2 e Lactin-2 são os mais indicados para essa finalidade. De acordo com os modelos o aquecimento global irá aumentar o número de gerações da lagarta do trigo em Santa Catarina e no Rio Grande do Sul.
- A intensidade do aumento varia principalmente conforme o local e o modelo utilizado para as previsões.

REFÊRENCIAS

- AGROFIT. Consulta de praga/doença – *Pseudaletia sequax*. **Ministério da Agricultura Pecuária e abastecimento**, 2018. Disponível em:
<http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons> Acesso em: 10 abr. 2018.
- AFONSO, A. P. S. et al. Zoneamento ecológico de *Spodoptera frugiperda*, *Anastrepha fraterculus* e *Grapholita molesta* para o Rio Grande do Sul e sua relação com as mudanças climáticas globais. Pelotas, RS: EMBRAPA-CPACT. 25 p. (Embrapa Clima Temperado, Documento, 252), 2008
- ANALYTIS, S. Relationship between temperature and development times in phytopathogenic fungus and in plant pests: a mathematical model. **Agricultural Research**, Índia, v.5, p.133-159, 1981.
- AUAD, A. M.; FONSECA, M. G. A entomologia nos cenários das mudanças climáticas. In: BETTIOL, W.; HAMADA, E.; ANGELOTTI, F.; AUAD, A. M.; GHINI, R. **Aquecimento Global e Problemas Fitossanitários**. Embrapa, Brasília, 2017.
- BETTIOL, W.; HAMADA, E.; ANGELOTTI, F.; AUAD, A. M.; GHINI, R. **Aquecimento Global e Problemas Fitossanitários**. Embrapa, Brasília, 2017.
- BIEZANKO, C. M.; RUFFINELLI, A.; LINK, D. Plantas y otras substancias alimentíceas de lãs orugas de los lepidópteros uruguayos. **Revista do Centro de Ciência Rurais**, Santa Maria, v.4, p.107-147, 1974.
- BORTOLI et al. Efeito do Aquecimento global sobre as pragas da cana-de-açúcar. In: BETTIOL, W.; HAMADA, E.; ANGELOTTI, F.; AUAD, A. M.; GHINI, R. **Aquecimento Global e Problemas Fitossanitários**. Embrapa, Brasília, 2017.
- BRIERE, J. F. et al. A novel rate model of temperature-dependent development for arthropods. **Environmental Entomology**, Estados Unidos, v.28, p.22-29, 1999.
- CAMPBELL A. et al. Temperature requirements of some aphids and their parasites. **Journal of Applied Ecology**, Londres, v.11, p.419-423, 1974.
- CAVALCANTI, I. F. A.; MARENGO, J. A. et al. Global climatological features in a simulation using CPTEC/COLA AGCM. **Journal Climate**, v.15, p.2965-2988, 2002.

ESRI. ArcGIS desktop: release 10.1. **Environmental Systems Research Institute, Redlands**. Estados Unidos, 2012.

FOERSTER, L. A. Efeito da temperatura no desenvolvimento das fases Imaturas de *Pseudaletia sequax* Franclemont (Lepidóptera: Noctuidae). **Na. Sociedade Entomológica Brasileira**, Curitiba, v.25, p.27-32, 1996.

FOERSTER, L. A.; DOETZER, A. K. Efeito do parasitismo por *Glyptapanteles muesebecki* (Blanchard) no consumo e utilização do alimento por *Pseudaletia sequax* Franclemont. **Anais da Sociedade Entomológica Brasileira**, Londrina, v.27, no.2, 1998.

GALLO, D. et al. **Entomologia Agrícola**. Piracicaba, ed. Agronômica Ceres. 920p. 2002.

GASSEN, D. N. **Caracterização das espécies de Pseudaletia Franc., 1951(LEP.Noctuidae) ocorrentes no Rio grande do Sul**. 1983. Tese Especialização. Pontífica Universidade Católica – PUC, Porto Alegre, 1983.

HONÉK, A. Geographical variation in thermal requirements for insect development. **European Journal of Entomology** 93.p.303-312, 1996.

IPCC – Intergovernmental Panel of Climate Change. Climate Change 2014 - Synthesis Report. 2015.

JANISCH, E. The influence of temperature on the life history of insects. **Transactions of Entomological Society**, Londres, v.80, p.137-168, 1932.

JÖNSSON, A. M.; APPELBERG, G.; HARDING, S.; BÄRRING, L. Spatio-temporal impact of climate change on the activity and voltinism of the Spruce Bark Beetle, *Ips typographus*. **Global Change Biology**, v.15, p.486-499, 2009.

KAPLAN, E.L.; MEIER, P. Nonparametric estimation from incomplete observations. **Journal of the American Statistical Association**, EstadosUnidos,v.53, p.457–481, 1958.

KIM, D. S.; LEE, J. H. A population model for the peach fruit moth, *Carposina sasakii* Matsumura (Lepdoptera: Carposinidae), in a Korean orchard system. **Ecological Modelling**. EstadosUnidos, v.221, p.268-280, 2010.

KONTODIMAS et al. Comparative temperature-dependent development of *Nephus includes* (Kirsch) and *Nephus bisignatus* (Boheman) (Coleoptera: Coccinellidae) Preying on *Planococcus citri* (Risso) (Homoptera: Pseudococcidae): Evaluation of a Linear and Various Nonlinear Models Using Specific Criteria. **Environmental Entomology**, Estados Unidos, v.33, p.1-11, 2004.

LACTIN, D. J. et al. Improved rate model of temperature-dependent development by arthropods. **Environmental Entomology**, Estados Unidos, v.24, p. 68-75, 1995.

LAMB, R.; GERBER, G. Effects of temperature on the development, growth, and survival of larvae and pupae of a north-temperate chrysomelide beetle. **Oecologie**. v.67, p.8-18, 1985.

LOGAN J.A. et al. An analytic model for description of temperature dependent rate phenomena in arthropods. **Environmental Entomology**. Estados Unidos, v.5, p.1133-1140, 1976.

MARCHIORO, C. A.; FOERSTER, L. A. Performance of the wheat armyworm, *Pseudaletia sequax* Franclemont, on natural and artificial diets. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 41, p. 288-295, 2012a.

MARCHIORO, C. A.; FOERSTER, L. A. Importance of carbohydrate sources to the reproductive output of the wheat armyworm *Pseudaletia sequax*. **Agricultural and Forest Entomology**, United Kingdom, v.14, p.29-35. 2012b.

MARCHIORO, C. A.; KRECHMER, F. S.; FOERSTER, L.A. Estimating the development rate of the tomato leaf miner, *Tuta Absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae), using linear and non-linear models. **Pest Management Science**, Estados Unidos, in press, 2017.

MARTINS, G.; KUBOTA, P. Y.; SILVA, D. M. S. Características da circulação atmosférica e precipitação utilizando o modelo acoplado MCGA/IBIS. **Boletim de Geografia**. v.33, n.2, p. 100-114, 2015.

MEDEIROS, R. S. et al. Estimativa do desenvolvimento de *Alabama argillacea* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) por meio de modelos não lineares. **Brazilian Journal Biology**, São Paulo, v.63, n.4, p.589-598, 2003.

PEPIN et al. Elevation-dependent warming in mountain regions of the world. *Nature Climate Change* v.5, p.424-430, 2015.

PEREIRA, P. R. V. S. **Lagartas filófagas**. EMBRAPA. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/triticales/arvore/CONT000gbe2jfc302wx5ok07shnq92eleizc.html>> Acesso em: 03 abr. 2017.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2015. URL <https://www.R-project.org/>.

RAO, M. S.; SWATHI, P.; RAO, C. A. R.; RAO, K. V.; RAJU, B. M. K.; SRINIVAS, K. et. al. Model and Scenario Variations in Predicted Number of Generations of *Spodoptera litura* Fab. on Peanut During Future Climate Change Scenario. **Plos One**, Índia, 2015.

ROY, M.; BRODEUR, J.; CLOUTIER, C. Relationship between temperature and developmental rate of *Stethorus punctillum* (Coleoptera: Coccinellidae) and its prey *Tetranychus mcdanieli* (Acarina: Tetranychidae). **Environmental Entomology**, Estados Unidos, v.31, p.177-187, 2002.

SALVADORI, J. R.; PARRA, J. R. P. Efeito da temperatura na biologia e exigências térmicas de *Pseudaletia sequax* (lep.: noctuidae), em dieta artificial. Pesquisa **Agropecuária Bras.**, Brasília, v.25, p.1693-1700, 1990.

SANDHU, H. S. et al. Temperature-dependent development of *Elasmopalpus lignosellus* (Lepidoptera: Pyralidae) on sugar cane under laboratory conditions. **Environmental Entomology**, Reino Unido, v.39, p.1012-1020, 2010.

SENTIS, A.; HEMPTINNE, J.L.; BRODEUR, J. Effects of simulated heat waves on an experimental plant–herbivore–predator food chain. **Global Change Biology**, Canadá, v.19, n.3, p. 833-842, 2013.

SHARPE, P. J. H. & DEMICHELE, D. W., 1977, **Reaction kinetics of poikilotherm development**. *J. Theor. Biol.*, 64: 649-670

SHI P. et al .A simple model for describing the effect of temperature on insect developmental rate. **Journal of Asia-Pacific Entomology**, Coreia, v.14, pg.15–20, 2011.

TAYLOR F. Ecology and evolution of physiological time in insects. **American Naturalist**, Chicago, v.117, p.1-23, 1981.

TOBIN, P. C.; NAGARKATTI, S.; LOEB, G.; SAUNDERS, M. C. Historical and projected interactions between climate change and insect voltinism in a multivoltin species. **Global Change Biology**, v. 14, n. 5, p. 951-957, 2008.

TONET, G. L.; KITAJIMA, E.W. **Possível ocorrência de um vírus da poliedrose nuclear em *Pseudaletia* sp. (Lepidoptera: Noctuidae), lagarta-do-trigo no Brasil.** in: REUNIAO NACIONAL DE PESQUISA DE TRIGO, 13, Cruz Alta, RS, 1984. Resultados de pesquisa do Centro Nacional de Pesquisa de Trigo. Passo Fundo, EMBRAPA-CNPT, 1984. p.252-4.

VALICENTE, F. H. Controle Biológico da Lagarta do cartucho, *Spodoptera frugiperda*, com *Bacillus thuringiensis*. **Circular Técnica – Embrapa**, ISSN 1518-4269, 2008. p.65.
Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPMS-2009-09/21373/1/Circ_105.pdf> Acesso em: 04 de mai. de 2018.

VUUREN, D. P.; EDMONDS, J.; KAINUMA, M.; RIAHI, K.; THOMSON, A.; HIBBARD, K.; et al. The representative concentration pathways: an overview. **Climatic Change**, v.106.p.5-31, 2011. Disponível em:
<<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs10584-011-0148-z.pdf>> Acesso em: 11 de mai de 2018

WAGNER, T.L. et al. Modeling insect development rates: a literature review and application of a biophysical model. **Annals of the Entomological Society of America** 77, v.2, p.208-225, 1984.

WORDELL FILHO, J. A. et al. **Pragas e doenças do milho: diagnose, danos e estratégias de manejo.** Florianópolis: Epagri, Boletim Técnico, 170. Milho ISSN 0100-7416, 2016.

WORNER, S. P. Performance of phenological models under variable temperature regime: consequences of the Kaufmann or rate summation effect. **Environmental Entomology** 21, Estados Unidos, v.1, p.689-699, 1992.

XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980-2013). **International Journal of Climatology**, v.36, p.2644-2659, 2016.

ZITER, C.; ROBINSON E. A.; NEWMAN, J. A. Climate change and voltinism in Californian insect pest species: sensitivity to location, scenario and climate model choice. **Global Change Biology**, v.18 p. 2771-2780, 2012.